

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: 2001350802 A

(43) Date of publication of application: 21.12.01

(51) Int. Cl

G06F 17/50

(21) Application number: 2001122052

(22) Date of filing: 27.12.94

(30) Priority: 18.11.94 JP 06284788

(62) Division of application: 06324390

(71) Applicant: HITACHI LTD

(72) Inventor: KOBAYASHI CHIE

NISHIGAKI ICHIRO

YAMASHITA SADAFUMI

MORIYAMA HIROMITSU

AOYAMA HIROMI

(54) DEVICE FOR GENERATING FINITE ELEMENT MODEL

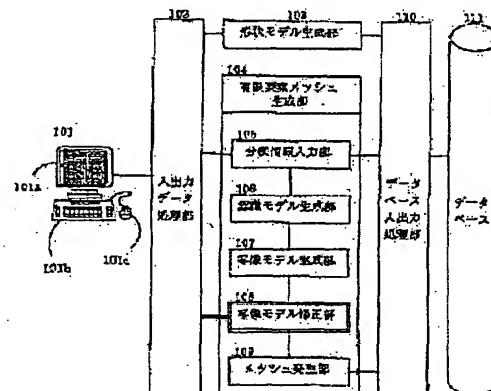
(57) Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To efficiently generate a mesh for easily controlling the roughness/ denseness of finite elements generated in a three-dimensional shape model and precisely analyzing this shape model.

SOLUTION: Division information for generating a shape model to be analyzed and a finite element mesh, is inputted (ST1-ST2), and a recognition model in which the ridge of the shape model is assigned to any coordinate axial direction of an orthogonal coordinate system is generated (ST3), and a mapping model in which orthogonal grating is generated on the surface and inside part of an approximate shape model is generated (ST4), and the generated mapping model is displayed on the screen (ST5), and the mapping model is changed by an interactive operation (ST7), and a finite element mesh is generated from the lattice point of the changed mapping model (ST8).

COPYRIGHT: (C)2001,JPO

図1 システム構成図



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報(A)

(11)特許出願公開番号  
特開2001-350802  
(P2001-350802A)

(43)公開日 平成13年12月21日(2001.12.21)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

識別記号  
612

F I  
G 0 6 F 17/50

### テ-マコ-ト<sup>°</sup>(参考)

第13章 1.1.1 進階的數字 QL (含 16 題)

(21)出願番号 特願2001-122052(P2001-122052)  
(62)分割の表示 特願平6-324390の分割  
(22)出願日 平成6年12月27日(1994.12.27)  
  
(31)優先権主張番号 特願平6-284788  
(32)優先日 平成6年11月18日(1994.11.18)  
(33)優先権主張国 日本(J.P.)

(71) 出願人 000005108  
株式会社日立製作所  
東京都千代田区神田駿河台四丁目 6 番地

(72) 発明者 小林 千恵  
茨城県土浦市神立町502番地 株式会社日立製作所機械研究所内

(72) 発明者 西垣 一朗  
茨城県土浦市神立町502番地 株式会社日立製作所機械研究所内

(74) 代理人 100075096  
翁理士 作田 康夫

最終頁に統く

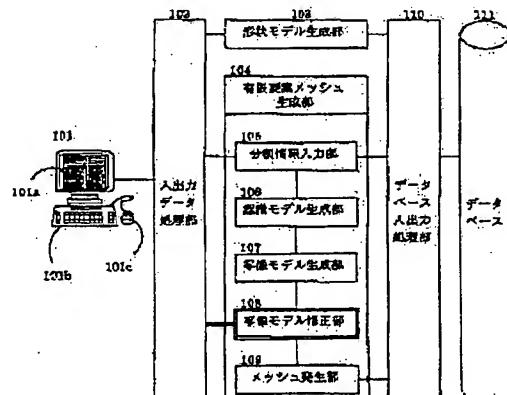
(54)【発明の名称】 有限要素モデル生成装置

(57) [要約]

【課題】容易に3次元形状モデルに生成した有限要素の粗密を制御して、精度良く解析するためのメッシュを効率的に生成することを目的とする。

【解決手段】解析対象の形状モデルと有限要素メッシュを生成するための分割情報を入力し（S T 1～S T 2）、形状モデルの稜線を直交座標系のいずれかの座標軸方向に割り当てた認識モデルを生成し（S T 3）、該近似形状モデルの表面および内部に直交格子を発生させた写像モデルを生成し（S T 4）、生成された写像モデルを画面に表示し（S T 5）、該写像モデルを対話的な操作で変更して（S T 7）変更後の写像モデルの格子点から有限要素メッシュを生成する（S T 8）。

図1 システム構成図



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 解析対象の形状モデルを作成する機能と、有限要素メッシュを生成するための分割情報を入力する機能と、この形状モデルの稜線を直交座標系のいずれかの座標軸方向に割当てたこの形状モデルと稜線の接続関係が等しい認識モデルを生成する機能と、この認識モデルの表面及び内部に直交格子を発生させた写像モデルを生成する機能と、この生成された写像モデルを画面に表示する機能と、この写像モデルの稜線を指定する機能と、前記指定した稜線の分割数を入力装置によって入力された分割数変更量に基づき変更する機能と、この写像モデルの表面及び内部の格子点を前記形状モデルに写像し有限要素モデルを生成する機能とを備えた有限要素モデル生成装置。

【請求項2】 請求項1において、前記写像モデルのエラー部分をハイライト表示する機能を備えた有限要素モデル生成装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、有限要素法のための有限要素モデルのメッシュ生成方法に係り、特に形状モデルを修正したり、補助線や補助点を新たに発生することなく容易に形状モデルに歪みの少ない有限要素メッシュを生成し、その粗密を制御する方法とこれを応用した装置に関する。

## 【0002】

【従来の技術】 従来、現象の数値シミュレーション解析の高効率化のためには、写像法を用いて解析対象の形状モデル上に有限要素メッシュを生成して、より計算精度や計算効率を高めることを目的とする「形状認識を用いた三次元自動要素分割システムの開発」高橋宏明、清水ひろみ他 日本機械学会論文集 59巻560号 p. 279-285 1993-4、特開平1-311373号公報及び特開平2-236677号公報に記載のメッシング方法に代表されるような、自動メッシュ生成法があり、統合型機械系CAEシステムHICAD/MESSH上で実現されていた。

【0003】 また写像法を用いた有限要素メッシュ生成法としては、システムが用意した写像モデルのパターンからユーザが不要なメッシュを取り除き、容易に形状モデルに適応した写像モデルを生成することにより、計算精度や計算効率を高めることを目的とする特開平5-2627号公報に記載のメッシング方法に代表されるような半自動メッシュ生成法もあった。

## 【0004】

【発明が解決しようとする課題】 従来の自動メッシュ生成法の技術において画面上に表示されるのは、解析対象形状モデルと最終結果である有限要素メッシュ生成モデルのみで、システム使用者はメッシュ生成過程に介入して途中経過情報を得ることができなかった。また、半自

動メッシュ生成法を用いても、適応できる形状モデルパターンには限界があった。

【0005】 これに対し、形状モデルの複雑化に伴い、直交座標空間への写像過程で写像モデルの一部が重なる問題が生じて写像モデルを生成できなかったり、有限要素が生成できても非常に歪んだ要素を含んでしまったりする場合があった。

【0006】 従来のシステムにおいては、写像モデルを生成できなかった場合、画面上にエラーメッセージを表示して処理を中断していた。このためシステム使用者は、初期状態まで戻って形状モデルのエラー原因部分を経験的に修正しなければならなかった。また、結果的に歪んでしまった要素を修正したい場合も、同様に初期状態に戻って形状モデルや分割数を変更しなければならなかった。上述のような方法は、モデルが複雑になる程、煩雑で時間と手間のかかる作業を必要としていた。一方、写像モデルのパターンを用意し、そのパターンを形状モデルに合うように半自動で要素単位に制御する方法もモデルの複雑化への対応に限界があった。

【0007】 これらの問題を解決し、容易かつ確実にメッシュ生成するための一手法として、メッシュ生成過程で自動処理中に発生する問題を取り除きシステム使用者が形状モデルの変更をすることなく希望するメッシュを生成できるようにするために、システムへの対話的ユーザ介入方式の導入が課題となっていた。

【0008】 本発明の目的は、製品設計の省力化及び新製品の開発力強化支援を図る解析用有限要素メッシュモデル自動作成システムの高度化であり、初期状態まで戻っての煩雑な形状モデル変更作業にわずらわされることなく複雑な形状モデルでも容易に有限要素メッシュを生成したり、生成された有限要素メッシュの形状や粗密を制御することにより計算精度を向上させたりする有限要素メッシュ生成装置を提供することにある。

## 【0009】

【課題を解決するための手段】 上記目的は、解析対象の形状モデルを作成する機能と、有限要素メッシュを生成するための分割情報を入力する機能と、この形状モデルの稜線を直交座標系のいずれかの座標軸方向に割当てたこの形状モデルと稜線の接続関係が等しい認識モデルを生成する機能と、この認識モデルの表面及び内部に直交格子を発生させた写像モデルを生成する機能と、この生成された写像モデルを画面に表示する機能と、この写像モデルの稜線を指定する機能と、前記指定した稜線の分割数を入力装置によって入力された分割数変更量に基づき変更する機能と、この写像モデルの表面及び内部の格子点を前記形状モデルに写像し有限要素モデルを生成する機能とを備えることによって達成される。特に、前記写像モデルのエラー部分をハイライト表示する機能を備えるようにした。

【0010】 この構成により、メッシュ生成過程の途中

で生成されるもとの形状を認識した写像モデルを画面上に表示して、システム使用者が該過程に介入して該写像モデルの形状を変更することによって自動メッシュ生成を援助することができ、初期状態まで戻っての煩雑な形状モデル変更作業にわざわざされることなく複雑な形状モデルでも容易に有限要素メッシュを生成したり、生成された有限要素メッシュの形状や粗密を制御することができる。

【0011】以下、本願明細書において、モデルとは形状を表現する数値データの集合のことと意味し、形状モデルとはシステム使用者が作成した、解析対象を3次元空間上に表現したモデルを意味し、認識モデルとは該形状モデルの稜線を直交座標系のいずれかの座標軸方向と平行になるように変換した、該形状モデルと稜線の接続関係が等しいモデルを意味する。また、写像モデルとは、該認識モデルの表面及び内部に直交格子を発生させたモデルを意味し、有限要素モデルとは該写像モデルの表面及び内部の格子点を該形状モデルに写像し有限要素法の解析に入力できる形に変換したモデルを意味する。更に、干渉部とは形状モデル上では交わったり重なったりしていない部分が写像モデル上で交わったり重なったりしている部分のことを意味する。

【0012】システム使用者が変更方法をメニューから選択した後、表示した写像モデルの各線分をマウスで選択し、変更量をキーボードから入力した場合、その変更に対応して画面上の写像モデルの形状を変更させて再表示する。同時にその時の写像モデルに対応した、予想される形状モデル上の生成メッシュも仮表示して変更の影響を明確にする。また、写像モデル上で干渉が生じメッシュを生成できない場合は、原因となる部分を色や太さ等で区別して表示し、システム使用者に変更を促す。

【0013】このように、有限要素生成過程において、システム使用者が容易な変更を加えるだけで、複雑な形状モデルを直接変更することなく効率的に有限要素メッシュを生成し、そのメッシュ形状や粗密を制御することを可能とする。

【0014】

【実施例】以下に本発明の実施例を図面に従って説明する。本発明の代表的実施例は、3次元ソリッド形状モデルを曲線座標変換法を用いて有限要素に分割する過程で生成される、直交座標軸に平行な線分のみから成る認識を、単位立方体の集合に分割した写像モデルを画面上に表示して、該写像モデルを対話的な操作で修正・変更することにより、有限要素メッシュの粗密を制御するものであり、その一実施例を図1～6において説明する。

【0015】図1は、本実施例を実現するためのシステム構成図である。本システムは、おおまかには入出力装置101、この入出力装置101に接続された入出力データ処理部102、更にこの入出力データ処理部102と接続された形状モデル生成部103及び有限要素メッシュ

シユ生成部104、形状モデル生成部103及び有限要素メッシュ生成部104と接続されたデータベース入出力処理部110、並びにこのデータベース入出力処理部110が接続するデータベース111にて構成されている。

【0016】入出力装置101は、形状モデルや写像モデル等を表示するためのCRTディスプレイ101aと、システム使用者がモデルを作成したり、数値を入力したり、モデルを変更したりするためのキーボード101b、並びにマウス101cとから主に構成される。入出力装置101が接続される入出力データ処理部102は、システム使用者が入力装置101から入力したデータを分析、処理するものである。

【0017】形状モデル生成部103は、入出力データ処理部102で処理されたデータに基づき、システム使用者が入力した形状モデルを生成する。有限要素メッシュ生成部104は、該形状モデルに有限要素メッシュを生成する。データベース入出力処理部110は、各生成部で生成されたデータをデータベース111に格納できるように処理する。

【0018】システム使用者が入出力装置101のキーボード101bやマウス101cを用いて入力した形状モデル生成用データを、入出力データ処理部102で処理し、次いで形状モデル生成部103で形状モデルデータを生成したあとデータベース入出力処理部110を介してデータベース111内に格納する。

【0019】該形状モデルに有限要素メッシュを生成させる有限要素メッシュ生成部104は、要素単位を決める分割情報入力部105、該形状モデルの稜線を直交座標系のいずれかの座標軸方向に割り当てる該形状モデルと稜線の接続関係が等しい認識モデルを生成する認識モデル生成部106、該認識モデルの表面及び内部に直交格子を発生させた写像モデルを生成する写像モデル生成部107、生成された写像モデルを画面上に表示して対話的な操作で変更するための写像モデル修正部108、修正後の写像モデルの表面及び内部の格子点を該形状モデルに写像し有限要素モデルを生成するメッシュ発生部109から構成される。

【0020】システム使用者が入出力装置101のキーボード101bやマウス101cを用いて入力した分割情報用データは、入出力データ処理部102で処理したあとデータベース入出力処理部110を介してデータベース111内に格納する。また、有限要素メッシュ生成部104の過程である写像モデル生成部107で生成した写像モデルは、写像モデル修正部108で入出力データ処理部102を介してCRTディスプレイ101aに表示し、表示された情報をシステム使用者がキーボード101bやマウス101cによって変更した場合、そのデータは再び入出力データ処理部102を介して写像モデル修正部108で処理し、結果として生成される写像

モデルをC R Tディスプレイ101a上に再表示する。システム使用者からの変更がなければ、該写像モデルに基づきメッシュ発生部109によって形状モデルに有限要素メッシュを発生してメッシュデータをデータベース入出力処理部110を介してデータベース111に格納する。

【0021】本システムを実現するためのソフトウェアのシステム使用者への提供媒体は、D A Tでも磁気テープでもフロッピー(登録商標)ディスクでも可能とする。

【0022】図2は、本実施例による有限要素メッシュ生成の全体フローチャートであり、図3～6は、その各過程で生成されるモデルを示す。夫々を対応付けながら、本実施例の核となる有限要素生成法について説明する。

【0023】(1) 有限要素法による解析の対象となる形状モデルを設定する。(S T 1, 例えば図3の通り)。設定は入出力装置101により行う。形状モデルは形状モデル生成部103で生成される。

【0024】(2) 有限要素メッシュを生成するための分割情報を有限要素メッシュ生成部104における分割情報入力部105にて入力後(S T 2)、形状モデルから、直交座標軸に平行な線分のみで構成されることを特徴とした、もとの形状に位相的に等しくかつ幾何的に最も近いモデルを生成する。以下このモデルを認識モデルと呼ぶ(S T 3, 認識モデル生成部106にて行われる。図3を形状モデルとすれば認識モデルは図4の通り)。

【0025】(3) 前記分割情報に基づき、認識モデルを単位要素長さの整数倍の線分のみから構成されるように微調整した後、認識モデルに直交格子を発生させて写像モデルを生成する。(S T 4, 写像モデル生成部107にて行われる。図4を認識モデルとすれば写像モデルは図5の通り)。このとき、写像モデルを画面上に表示し(S T 5)、該写像モデルを対話的な操作で変更できるようにする(S T 6～7, 写像モデル修正は写像モデル修正部108にて行われる)。

【0026】(4) 前記(3)で求めた写像モデルの境界の格子と形状モデルの境界の格子との対応関係から形状モデル内部に格子を発生させ、有限要素メッシュモデルを生成する(S T 8, メッシュ発生部109にて行われる。図5を写像モデルとすれば有限要素メッシュモデルは図6の通り)。

【0027】上記(2)、(3)の過程について詳細を説明する。図7に、写像モデル生成までの前半過程の詳細フローチャートを示す。(2)において認識モデルは、形状モデルを「体」という単位に分解して生成する。そのため、最初に解析対象となる形状モデルを「体」へと分解する(S T 9)。「体」とは形状モデル内で接続関係にある線分の集合を意味し、自らの閉ル

ープ内に他の閉ループを含まないループのみから構成される最小部分形状である。例えば図3のような形状モデルの場合、例えば図8の8a～8cに示す穴形状や突起物形状へと分解する。認識モデルはこの各体毎に生成する(すなわち全部の体を直交座標空間に写像し、認識モデルを生成する。S T 10。図3を形状モデルとすれば図9の通り)。(3)において写像モデルは、上記の各体毎に生成する段階と、生成された各体の写像モデルを組み立てる段階の大きく二つに分けられる。そのため本10実施例では、各段階で生成される写像モデルを夫々画面に表示して修正・変更できるように、第一次修正と第二次修正を行える二段構成であることを特徴とする。前出の図7は、各体毎の写像モデルを生成するまでの流れである。

【0028】写像モデル生成過程では、最初に分割情報に基づき各体の構成線分を単位要素長さの整数倍になるように微調整をした後、全ての体の認識モデル上に直交格子を発生させて各体毎の写像モデルを生成する(図3を形状モデルとする一連の例で示せば図10の通り)。

【0029】ところが、各体の認識モデルを要素単位長さの整数倍に微調整する際に、形状として成立しない自己干渉部分が生じることがある。図11、12は2次元的に自己干渉を生じるループの例である。図11左の形状モデルは、非常に細長い部分(11a)を含んでいる。このような単位要素長さより小さい部分を含む形状の認識モデルに上記のような微調整を施すと、間隔が0の部分(11b)が生じてしまい正常な写像モデルを生成できない。また、図12のような曲線を含む凹型形状30モデルの場合直交座標空間に写像したとき、12a～12cで構成される部分が線分12dを図12右のようにつき抜けてしまうことがあり、正常な写像モデルを生成できない。

【0030】しかし、写像モデルを変更すればこれらの干渉は回避することができる。図11の場合、線分11cに重なってしまっている線分11dを矢印11e方向に移動することにより11aに相当する部分が構成できて、写像モデルを生成できる。図12の場合も同様に、線分12dを突き抜けている線分12bを矢印12e方向に移動することによって干渉を回避することができる。

【0031】そこで、第一次写像モデル変更のために、各体毎の写像モデルを生成する際に、各体を構成する全ループに自己干渉が生じていないか探索し、一つでも干渉しているループが含まれていたら(S T 11)、対象となっている体を干渉した状態のまま画面上に表示する(S T 12)。この写像モデルを、システム使用者がマウス操作やキーボード入力によって正常形状に修正・変更した後、写像モデルの組立て過程へと進む。尚、S T 10後分割情報を取り込み、未処理体があった後にS T

11となる。

【0032】自己干渉の一判定法としては、形状モデル上では交わったり、接触したりしていない線分や点が写像モデルを生成した結果、交わったり接触してしまっていたりしている部分を探索するために、各ループを図13のように反時計回りでたどったとき、2度通過する点（13aや13b）があるか否かで確認する方法がある。

【0033】修正対象となった体を表示する方法としては、システム使用者に写像モデル変更指針を明示するために、写像モデル直交格子状態を表示したり、干渉部分を色別表示したりする方法を用いる。直交格子状態に関しては、図14に示すように各線分上の格子点のみを表示しても（14a）、格子そのものを表示しても（14b）、各線分の分割数（格子数）を数字で表示しても（14c）良い。また、上記の探索方法等によって検出した干渉部分は、該当する線分（例えば、前出の図11の線分11d）やループの色を変えたり、太さを変えたりして表示して、修正・変更すべき部分を明確にする（干渉部色別表示については図7のST13）。

【0034】図15に、表示した写像モデルの代表的変更方法を3次元的に示す。システム使用者は、画面上に表示された写像モデル（a）の、変更対象線分の中点より希望変更方向（矢印15a1）寄りの任意点（15a2）をマウスで選択し、キーボードから希望変更量を整数値で入力する。この変更量が正の時は選択線分の格子数が増加し、負の場合は減少する。システム使用者の操作に従って、画面上の写像モデル形状が（b）のように変更され、同時に形状モデル上に生成される有限要素メッシュの粗密が変更量分変化する（c）。このとき、マウスで選択する位置は希望変更方向に直交する線分（15a3）を選択して変更する方法を用いても良い。また、同方向に同量変更する線分であれば、一回の変更対象として複数の線分を選択することも可能とする。

【0035】前出の図12の干渉回避の一方法としては、線分12aの上半分をマウスで選択し、負の値を入力すれば良い。

【0036】ところで、図12のような突き抜けを修正する際には注意が必要である。ある部分の突き抜けを修正することにより、二次的な突き抜けが発生してしまう場合があるからである。図16にその例を示す。

【0037】図16の（a）に示す形状モデルの写像モデルが、（c）のように生成されたとする。ループ16A上の線分16A1と線分16A2が干渉している。これを修正するために線分16A2を画面下方向に1格子分変更する（d）。一方このとき、ループ16Bに生成された格子が（b）のようである場合、ループ16Aの修正のために下がった線分16A2に接続している線分16c1が同量変更される。これにより、（e）のように新たに線分16c1と16c2で干渉が生じてしまう

ためループ16Bについてもループ16Aと同様の干渉回避操作を行い、（f）のように修正する必要がある。このように、ある変更によって発生する二次的干渉の探索もれがないように、システム使用者が写像モデルの変更を1回行なうたびに体内の全ループの干渉検索を行い、対話的に修正を繰り返す（図7のST14）。

【0038】全ての体について、自己干渉がなくなり、正常な写像モデルを生成できたら、生成した各写像モデルの組立て過程へと進む（図7のST15）。

10 【0039】図17に写像モデルの組立てのフローチャートを示す。組立ては、各体の接続面の位置関係に基づいて行う（ST16）。ここで、接続面とは分解前の各体同志が接続していた面のこと、図5の5aに示すような面を意味する。この面内の最も外側のループ5bを外形ループ、その内部のループを接合ループと呼ぶ。

【0040】面という2次元的な位置関係から3次元的に組み立てるため、各体は正常な写像モデルであっても組み立てたモデルにおいて、自己干渉や体同志の相互干渉が生じてしまう場合がある。図18～21にその例を示す。

【0041】図18は体18aと体18bの二つの体から構成される形状モデルの、3次元的な突き抜けの例である。各体の写像モデルは正常に生成されるが、これを組み立てると破線で示した斜線分（18b1～18b4）を含む体18bの高さが体18aの高さより大きく写像されるため、（c）や（d）に示すように突き抜け部分（18c1）や接触部分（18d1）が発生してしまう。この干渉を回避するには、線分18c2～18c5や18d2～18d5の格子数を減らすか、線分18c6～18c9や18d6～18d9の格子数を増やす必要がある。

【0042】図19は複雑な形状の穴を有する形状モデルにおける、穴の体同志の相互干渉例である。各体毎の写像モデルおよび接続面における位置関係は問題なく決定されるが、体19a2と体19a3の形状が特殊であるため、（a）のように写像モデルを3次元的に組み立てた場合に体19a1の内部で穴の相互干渉が発生して、正常な全体写像モデルを生成できない。

【0043】図20は突起物と穴を有する形状モデル（a）における、突起物と穴の体同志の相互干渉例である。各体毎の写像モデルは問題なく生成されるが、写像モデルを組み立てる際体20b1と20b2の位置が最初に決定され、最後に体20b3を決定しようとした場合、接合面上での各接合ループの位置を決定しようとすると（b）のように体20b3と、体20b1、体20b2の各接合ループ（20b11、20b21）が、穴ループ（20b31）に一部重なってしまい相互干渉が発生して、正常な全体写像モデルを生成できない。これは、形状モデルの体20a1が台形であるため、形状モデルでは相互干渉がないにもかかわらず、体20a1の

写像モデルである体20b3がループ20a11ではなくループ20a12を基準に生成されることに起因する。

【0044】上記の図19や図20のような干渉は、干渉に關係する体を移動することによって回避することができる。例えば図19の場合、体19a2を矢印19a4の方向に移動することによって干渉部分のない写像モデル(b)が、図20の場合、体20b1と体20b2を矢印20b41と矢印20b42の方向にそれぞれ移動することによって(c)の写像モデルが生成可能となる。

【0045】図21は接続面の外形ループが小さく、写像モデルを組み立てる際に穴の体同志が相互干渉してしまう例である。(a)の形状モデルにおいては干渉することなく位置している二つの台形の穴の体(21a1と21a2)が、双方とも大きい方のループ21a11、21a21を基準に写像モデルが生成された場合、

(b)に示すような干渉が発生する。この場合、接続面上に穴の体を移動して干渉を回避するために充分なだけの格子数がないため、外形ループ21b1を矢印21b2の方向に拡張してから図19の場合と同様に体21a1または21a2を移動すれば干渉を回避できる((c))。

【0046】以上のような、組立て段階における干渉回避のために第2次写像モデル変更を行なう。各体毎の写像モデルを組み立てる際に、一部分でも体同志が干渉していたら、干渉した状態のまま写像モデル全体を画面上に表示する(図17のST17)。この写像モデルを、システム使用者がマウス操作やキーボード入力によって正常形状に修正・変更して、干渉のない写像モデルを生成完了する(図17のST18～ST21)。この際、第2次変更でも第1次変更の時と同様に、写像モデルが1か所修正・変更されるたびに全体の干渉部分を識別できるように表示し(ST19)、干渉部分の有無を確認しながら変更操作を進めるものとする。

【0047】具体的な操作手順を示すために、図22～図26に写像モデルが生成できないために処理が中断していた形状モデルと、該形状モデルに本システムを適用して写像モデルを操作することにより、メッシュ生成が可能となった例をディスプレイ表示にして示す。(a)の形状モデルは、写像モデルの組立ての際に矛盾が生じ、有限要素が生成できない一例である。

【0048】CRTディスプレイ101a上に表示された解析対象形状モデルに対して、有限要素モデルの生成を行おうとすると(b)に示す画面となり、22b1のようなエラーメッセージが表示されて処理が中断してしまう。従来、このような場合システム使用者は(a)に戻り、形状モデル自体を修正する必要があった。

【0049】これに対し、図22の(a)と同じ形状モデル(図23の(a))に本システムを適用した場合、

CRTディスプレイ101a上に図23の(b)に示すような、エラー部分(23b2)をハイライト表示した写像モデルと写像修正コマンドメニュー(23b3)を表示する。

【0050】ここで図24に写像修正コマンドメニュー一覧の一例を示す。この表示例では、頂点移動、塗り潰し切り換え、分割数表示切り換え、写像モデル表示移動、形状回復、形状全回復、分割中止、分割続行が挙げられている。

10 【0051】次に、図25によって写像モデルの修正操作手順を説明する。システム使用者はコマンドメニューから必要なコマンドをマウス101cによって選択した後、アイコン25a1をマウス101cによって、CRTディスプレイ101a上に表示された写像モデル上の、変更したいエラー線分位置へ移動し、マウス101cの左ボタン101c1を押下することによって変更対象線分とその変更方向を指示する。次にキーボード101bから変更量を入力して、写像モデルを変更する。

【0052】図26の(a)に示すようにエラー部分がない写像モデルが表示されるまで変更操作を繰り返した後、分割続行を指示すると、図23の(a)の形状モデル上に変更後の写像モデルデータに基づいて有限要素メッシュが生成され、CRTディスプレイ101a上には図26の(b)のような有限要素モデルが結果として表示される。

【0053】体の相互干渉の一判定方法を図27に示す。各体の写像モデル(a)に生成された格子座標に、形状モデルにおける各体の位置関係から求めた(b)に示すような各格子の位置属性を表わす数値を設定しておき、各体の境界上の格子点が重なったり接觸したりしていてはいけない他の体の表面または内部にある格子上に重なったり接觸している部分を探索する。

【0054】修正対象となった体を表示する方法としては、第1次写像モデル変更の際と同様である。代表的変更方法として、第1次変更の場合を基本とした線分伸縮及び点移動の例を以下で説明する。

【0055】図28は、線分長伸縮による干渉回避の例である。(a)の写像モデルにおいては、28a1部分で干渉が生じている。この場合、一点鎖線で示した線分28a2を選択して矢印28a3の方向に正の量格子数を変更することにより、干渉を回避できる。このとき、線分28a2の中点より変更方向側の点はすべて同量分移動すると、(b)のような写像モデルが再生成される。

【0056】図29は、点移動による干渉回避の例である。(a)の写像モデルにおいて、29a1部分で生じている干渉を回避しようとして上記と同様に線分29a2を選択して矢印29a6方向への変更を行うと、線分29a3と線分29a4で二次干渉が発生してしまう。

50 この場合は変更操作は同じでも干渉に直接関係するル

ブ29a5内の格子点のみが変更されるようにしておく。これによって、必要な部分のみを変更した写像モデル(b)が再生成される。

【0057】また体毎の移動に関しては、変更したい体の変更方向線分をマウスによって選択し、キーボードから変更量を入力することによって実現する。例えば、図19で体19a2を矢印19a4の方向に移動する場合の一操作例としては、線分19a21の中点より変更希望方向側を選択して、変更量を入力する。

【0058】上記のような移動修正操作の結果、全体写像モデル内に干渉がなくなっても格子状態を変更できるようにする。これにより、図30の(b)の30b1部分に示すように歪んだ有限要素メッシュが生成される場合を即時に検知し、写像モデルを図30の(a)から図31の(a)へと変更して図31の(b)のようにメッシュ形状を整えたり、粗密を制御したりすることができるようになる。

【0059】この際、写像モデルの変更によって有限要素メッシュがどのように変化するかを対比させながらシステム使用者が満足のいくまで粗密制御できるようにするため、図32、図33に示すように写像モデル(30a、31a)と有限要素モデル(30b、31b)を同時に一画面上に表示する。また、図32において画面上に表示したの写像モデル30aを修正すると、速やかに図33の31aのように変更後の図に切り替わり、対応する有限要素モデル31bを同時に表示する。

【0060】以上のような写像モデル変更に関する各操作は全種類とも図24に示すようなメニュー形式で選択できるようにしても、コマンド入力形式にしてもよい。いずれの場合も、変更前のデータを一時保存しておくことにより、変更操作途中で簡単に初期状態または変更直前の状態に戻せる回復操作を可能とするのが好ましい。これら一連の対話的操作終了後、その結果として生成された写像モデルの境界格子と形状モデルの境界格子との対応関係から、形状モデル内部に格子を発生させて最終的な有限要素メッシュを生成する(図17のST2)。

#### 【0061】

【発明の効果】本発明によれば、解析対象となる3次元形状モデルに、写像法によって自動で有限要素メッシュを生成する過程で生成される写像モデルを画面上に表示し、システム使用者が該写像モデルを対話的操作で変更して有限要素メッシュの粗密の制御ができるため、精度良く解析するためのメッシュを効率的に生成することができる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明を実施するためのシステム構成図である。

【図2】本発明によるメッシュ生成方法の全体フローチャート図である。

【図3】解析対象となる3次元形状モデルの例の説明図である。

【図4】図3の形状モデルから生成される認識モデル図である。

【図5】図4に直交格子を生成した写像モデル図である。

【図6】図5の写像モデルに基づいて生成された有限要素メッシュモデル図である。

【図7】各体ごとに写像モデルを生成するまでのフローチャート図である。

【図8】図3の形状モデルを体に分解した様子を示す説明図である。

【図9】図8の形状モデルから生成される各体ごとの認識モデル図である。

【図10】図9に直交格子を生成した各体ごとの写像モデル図である。

【図11】狭量部分が原因で自己干渉が生じるループの例の説明図である。

【図12】突き抜けによる自己干渉が生じるループの例の説明図である。

【図13】ループの反時計回り方向を示す説明図である。

【図14】写像モデル各線分の分割数表示方法の例の説明図である。

【図15】表示された写像モデルの基本的変更方法例の説明図である。

【図16】1つの干渉を修正したことによって発生する二次干渉の例の説明図である。

【図17】各体毎に生成された写像モデル組立て方法のフローチャート図である。

【図18】3次元的な自己干渉例の説明図である。

【図19】複数の穴の体同志の干渉例の説明図である。

【図20】穴と突起物の体同志の干渉例の説明図である。

【図21】穴の体同志の干渉回避のために、外形ループを変更する必要がある場合の例の説明図である。

【図22】写像モデルの生成に失敗した例の説明図である。

【図23】エラー写像モデルの表示状態の説明図である。

【図24】写像モデル修正コマンドメニュー一覧の例の説明図である。

【図25】写像モデル修正方法の説明図である。

【図26】修正後の写像モデルに基づいて生成された有限要素モデルの説明図である。

【図27】写像モデルにおける各格子点の位置属性を示す例の説明図である。

【図28】全体写像モデルの、線分伸縮による変更方法例の説明図である。

【図29】全体写像モデルの、点移動による変更方法例

の説明図である。

【図3 0】生成メッシュ形状が歪んだ例の説明図である。

【図3 1】生成メッシュ形状の歪みを修正した例の説明図である。

【図3 2】修正前写像モデルと有限要素モデルを同一画面上に表示した例の説明図である。

【図3 3】修正後写像モデルと有限要素モデルを同一画面上に表示した例の説明図である。

面上に表示した例の説明図である。

【符号の説明】

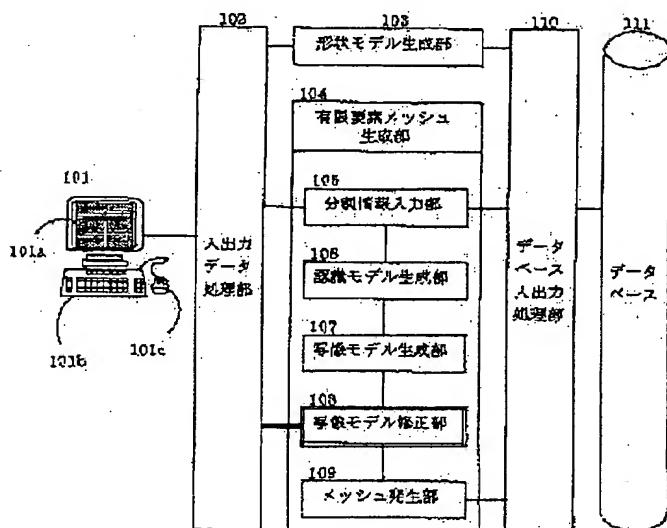
101…入出力装置、101a…CRTディスプレイ、  
101b…キーボード、101c…マウス、102…入  
出力データ処理部、103…形状モデル生成部、104  
…有限要素メッシュ生成部、105…分割情報入力部、  
106…認識モデル生成部、107…写像モデル生成部、  
108…形状モデル修正部、109…メッシュ発生部、  
110…データベース入出力処理部、111…データベース。

【図1】

【図3】

【図9】

図1 システム構成図



【図4】

【図5】

【図6】

図4 認識モデル

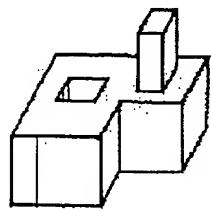


図5 写像モデル

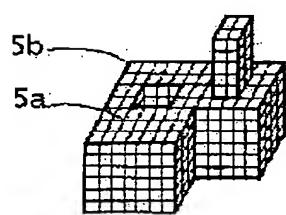
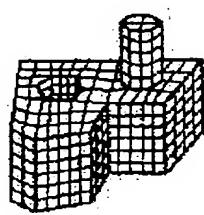
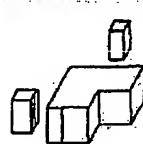


図6 有限要素メッシュモデル



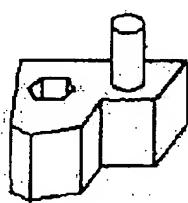
【図3】

図3 形状モデル



【図10】

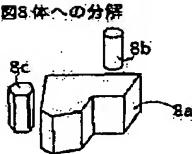
図9 認識モデル生成



【図8】

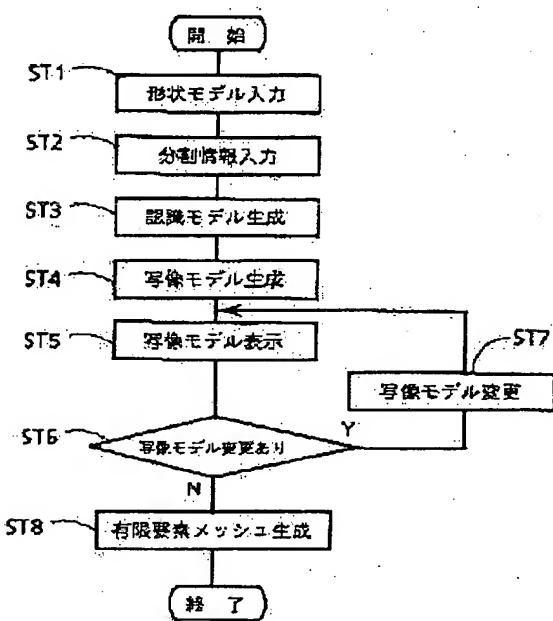
【図10】

図10 体毎写像モデル生成

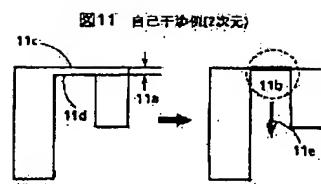


【図2】

図2 対話型操作による有限要素メッシュ制御方法のフローチャート

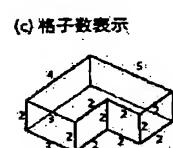


【図11】

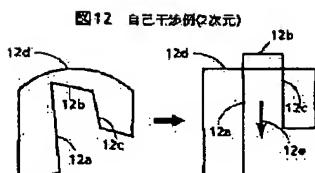


【図14】

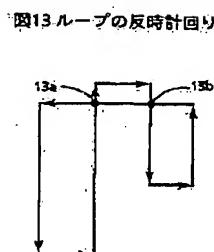
図14 分割数表示方法



【図12】

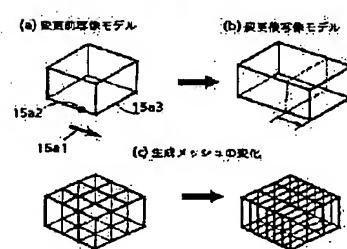


【図13】



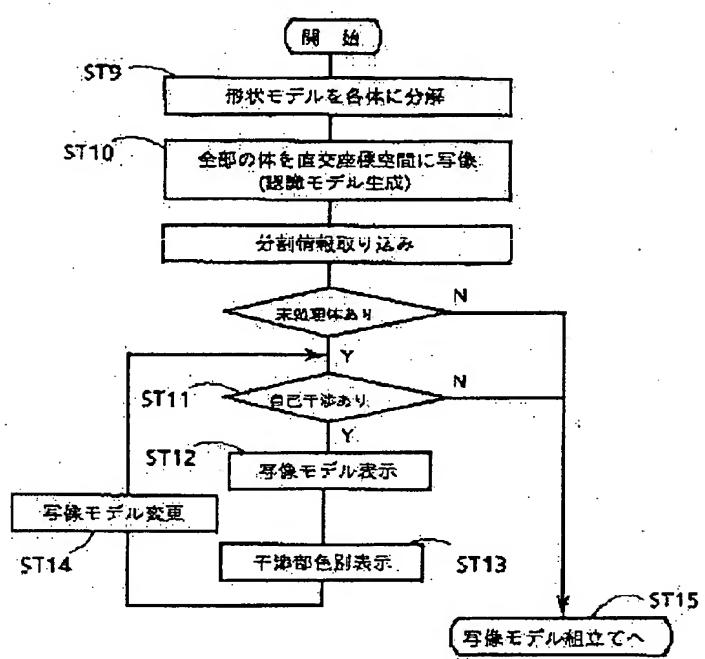
【図15】

図15 写像モデル変更方法(基本)

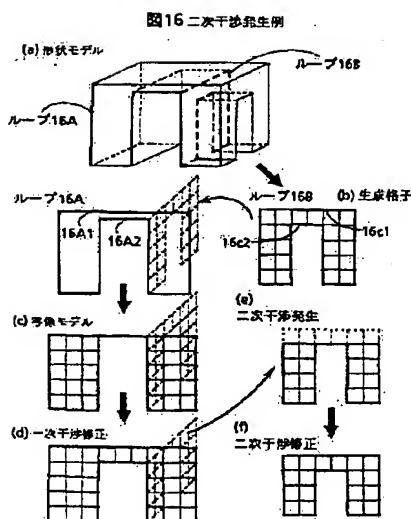


【図7】

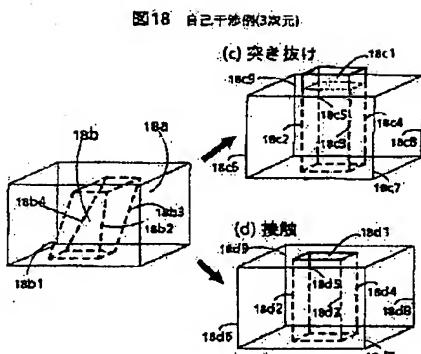
図7 各体毎の写像モデル生成方法のフローチャート



【図16】



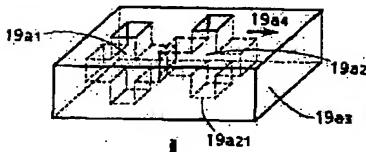
【図18】



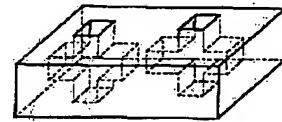
【図19】

図19 穴周辺の干涉例

(a) 干渉写像モデル



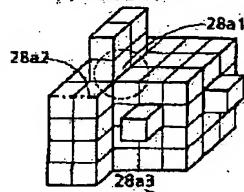
(b) 修正後写像モデル



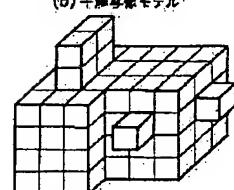
【図28】

図28 線分伸縮方法

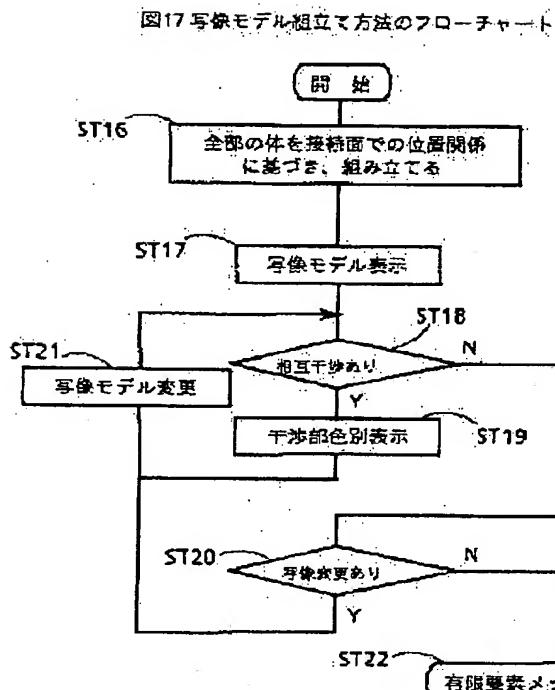
(a) 干渉写像モデル



(b) 干渉写像モデル

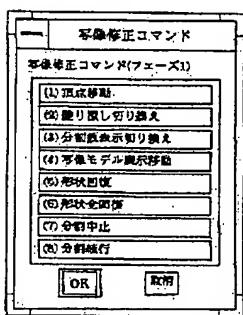


【図17】



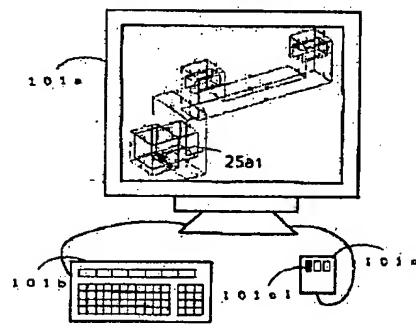
【図24】

図24 写像修正コマンドメニュー例

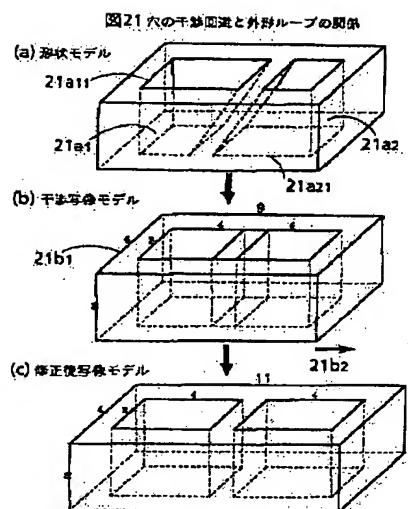


【図25】

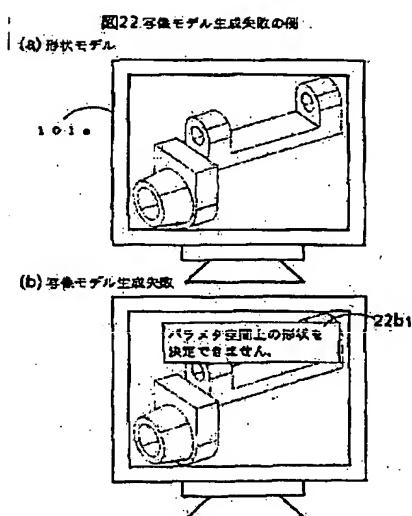
図25 写像モデル修正方法



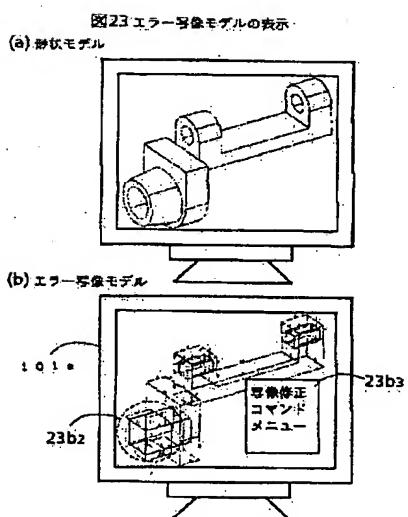
【図21】



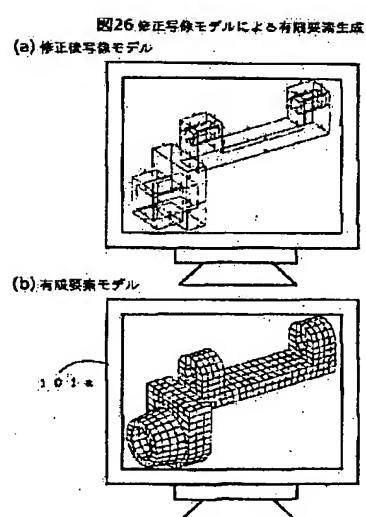
【図22】



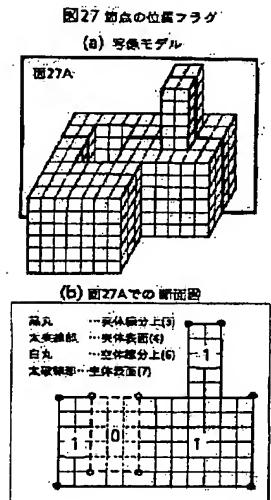
【図23】



【図26】

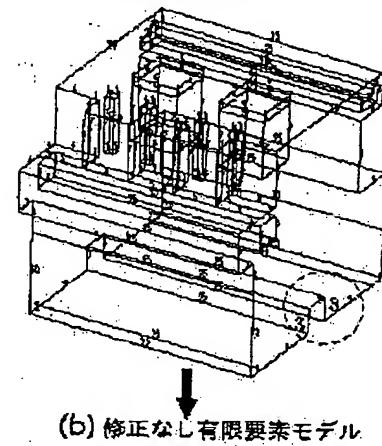


【図27】

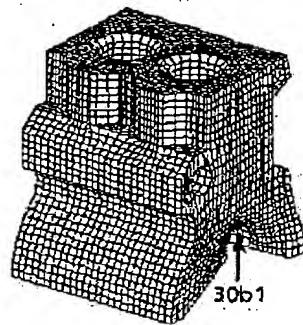


【図30】

図30 生成メッシュ形状の歪み  
(a) 修正前写像モデル

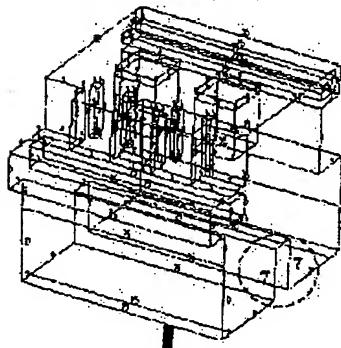


(b) 修正なし有限要素モデル

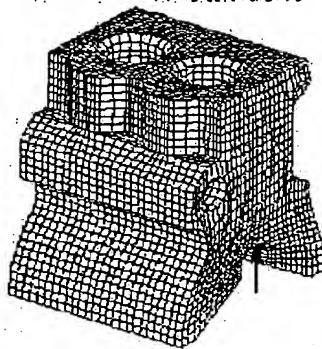


【図31】

図31 生成メッシュ形状の歪み修正  
(a) 修正後写像モデル

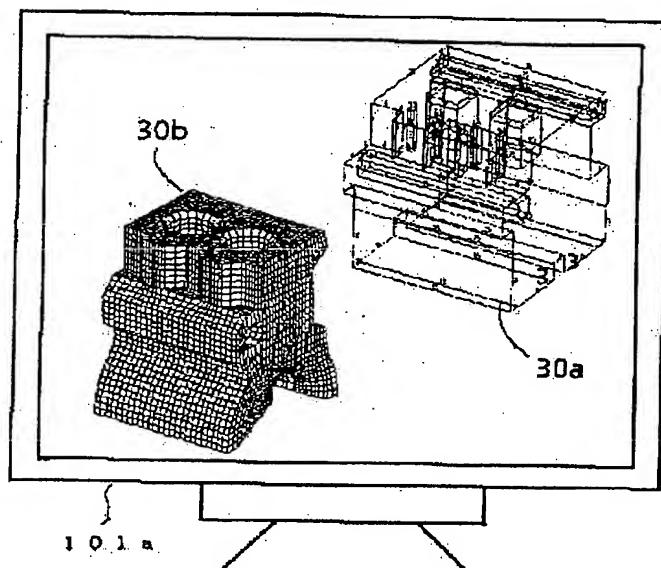


(b) 修正後有限要素モデル



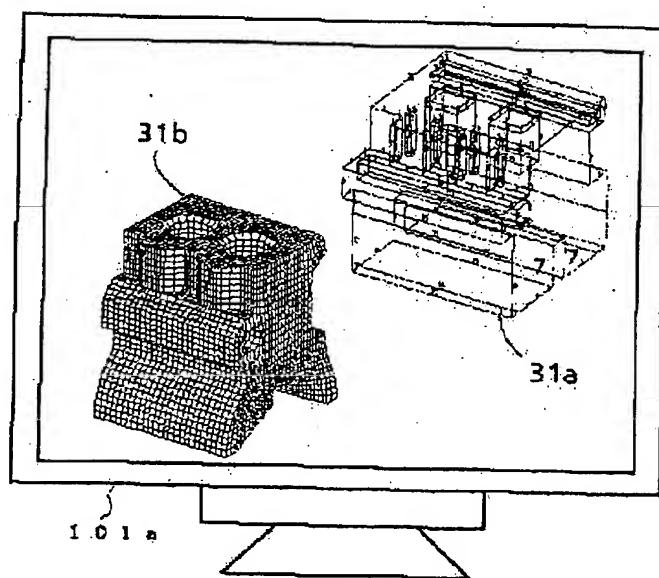
【図32】

図32 修正前写像モデルと有限要素モデル



【図33】

図33 修正後写像モデルと有限要素モデル



## フロントページの続き

(72)発明者 山下 複文

神奈川県横浜市戸塚区戸塚町5030番地 株  
式会社日立製作所ソフトウェア開発本部内

(72)発明者 森山 浩光

神奈川県横浜市戸塚区戸塚町5030番地 株  
式会社日立製作所ソフトウェア開発本部内

(72)発明者 青山 ひろみ

茨城県土浦市神立町502番地 株式会社日  
立製作所機械研究所内

Fターム(参考) 5B046 DA02 JA07